

УДК 537.638.214

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СПЕКТРЫ ЭПР ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ ИТТРИЯ И ГАДОЛИНИЯ

С. А. МНАЦАКАНЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 3 июля 1985 г.)

Проведено исследование температурной зависимости ширины и интенсивности линии электронного парамагнитного резонанса в ферритах-гранатах иттрия и гадолиния в широкой области температур выше точки Кюри. Обнаружено размытие фазового перехода в некотором температурном интервале $\Delta T_{\text{пер}}$. Предполагается, что это размытие обусловлено наличием ближнего магнитного порядка.

При изучении фазовых переходов электронный магнитный резонанс остается одним из эффективных средств для получения информации о структурных изменениях [1] и о корреляционных процессах в критической области [2]. Исследования неравновесного поведения магнитной системы ферритов-гранатов в критической области фазового перехода второго рода методом магнитного резонанса позволили определить критические показатели магнитного резонанса [3] и обнаружить ряд особенностей температурной зависимости ширины линии электронного магнитного резонанса ферритов-гранатов как в упорядоченной фазе, так и в парамагнитной области [4].

В настоящей работе приводятся результаты систематического изучения параметров магнитного резонанса ферритов-гранатов иттрия и гадолиния в широкой области температур от окрестности температуры Кюри (T_K) до температур, превышающих T_K на 250—300°, и проводится сравнение полученных данных с имеющимися теоретическими предсказаниями.

Методика эксперимента

Измерения проводились на обычном спектрометре ЭПР трехсантиметрового диапазона, использующем метод двойной модуляции магнитного поля. За ширину линии ΔH принималось расстояние по шкале магнитных полей между максимумом и минимумом первой производной линии магнитного резонанса. Колебания температуры образца в процессе измерения каждой кривой магнитного резонанса не превышали 0,1°. Измерения проводились на моно- и поликристаллических образцах иттриевого и гадолиниевого ферритов-гранатов различного диаметра. Максимальный перепад температур в самом большом образце диаметром около 1 мм был менее 0,1°. Система обогрева позволяла изменять температуру с шагом в десятые доли градуса во всем исследуемом диапазоне температур. Ширина линии из-

мерялась с точностью не хуже $\pm 3\%$. Ориентировку монокристаллов производили магнитным полем.

Результаты измерений и обсуждение

На рис. 1 приведены графики температурных зависимостей ΔH для трех монокристаллических образцов феррита-граната иттрия с диаметрами 0,63; 0,72 и 1,01 мм (а) и двух монокристаллических и одного поликристаллического образцов феррита-граната гадолиния (б).

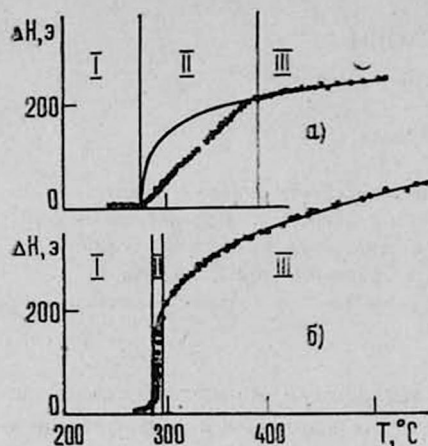


Рис. 1. Температурная зависимость ширины линии электронного магнитного резонанса феррита-граната иттрия (а) и феррита-граната гадолиния (б).

Во всей исследуемой области температур какой-либо зависимости ширины линии от размеров образцов, их формы, поликристалличности и ориентации во внешнем магнитном поле нами не было обнаружено. Несмотря на отсутствие резких особенностей в ходе кривых рис. 1, можно утверждать, что на разных участках исследуемого интервала температур характер температурной зависимости ширины линии магнитного резонанса ферритов-гранатов заметно меняется. Анализ кривых позволил выделить три температурных интервала с характерным для каждого из них законом изменения ΔH , которые на рис. 1 обозначены римскими цифрами. Принципы выделения этих интервалов будут рассмотрены ниже. Обсуждение экспериментальных результатов удобно проводить отдельно в каждой из этих областей.

а) Непосредственная окрестность температуры Кюри. На рис. 2а в полупрологарифмическом масштабе представлены участки кривых рис. 1 в узком

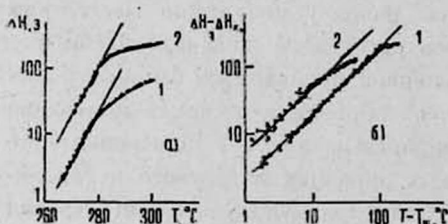


Рис. 2. Ширина линии магнитного резонанса в окрестности температуры Кюри (а) и в переходной области выше температуры Кюри (б): 1 — $Y_3Fe_5O_{12}$; 2 — $Gd_3Fe_5O_{12}$.

диапазоне температур в окрестности границы между интервалами I и II. За точку Кюри принята температура, при которой кривая температурной за-

висимости ΔH , построенная в системе координат рис. 2, отклоняется от линейной [5]. Эта же температура принята за границу между интервалами I и II.

Из графика, приведенного на рис. 2а, следует, что в непосредственной близости к T_K ширину линии ферромагнитного резонанса всех измеренных образцов можно представить в виде

$$\Delta H = \Delta H_K \exp p\tau, \quad \tau \leq 0, \quad (1)$$

где $\tau = (T - T_K)/T_K$, ΔH_K — ширина резонансной линии в точке Кюри, p — безразмерный параметр. Из наклона линейных участков кривых на рис. 2а следует, что для обоих типов образцов значения параметра p совпадают, и он равен примерно 100. Для $Y_3Fe_5O_{12}$ $\Delta H_K = 16$ Э, а для $Gd_3Fe_5O_{12}$ $\Delta H_K = 150$ Э.

При переходе через точку Кюри характер температурной зависимости ΔH меняется, и для $\tau > 0$ становится характерной степенная зависимость ΔH от температуры. Определенная вышеуказанным способом температура Кюри оказалась равной: для $Y_3Fe_5O_{12}$ — (551 ± 1) К, а для $Gd_3Fe_5O_{12}$ — (556 ± 1) К.

б) Область температур от T_K до $T_K + \Delta T_{\text{пер}}$. Начиная с температуры Кюри в некотором интервале, который обозначим через $\Delta T_{\text{пер}}$, имеет место линейный прирост ширины линии электронного магнитного резонанса с температурой. На рис. 2б приведены графики зависимости $\Delta H - \Delta H_K$ от $(T - T_K)$ в двойном логарифмическом масштабе. Для линий ЭПР изученных ферритов-гранатов в этой области температур можно записать

$$\Delta H - \Delta H_K = B\tau, \quad 0 \leq \tau \leq \frac{\Delta T_{\text{пер}}}{T_K}, \quad (2)$$

где B и $\Delta T_{\text{пер}}$ — константы.

Впервые наличие температурного интервала $\Delta T_{\text{пер}}$ наблюдалось в работе [3]. Учет конечного значения ширины линии в точке Кюри приводит к линейной зависимости типа (2) во всей рассматриваемой области температур. Для иттриевого феррита-граната $\Delta T_{\text{пер}} \approx 110^\circ$, а для гадолиниевого — $\Delta T_{\text{пер}} \approx 15^\circ$. Как и в [3], в области температур от T_K до $T_K + \Delta T_{\text{пер}}$ наблюдалось изменение g -фактора.

В теории фазовых переходов Ландау II рода учет влияния внешнего магнитного поля на явления в критической области приводит к размытию фазового перехода в некоторый интервал ΔT , оценка которого из самых общих соображений приводит к следующему выражению [6]:

$$\Delta T \sim H^{2/3} V^{2/3}, \quad (3)$$

где H — внешнее магнитное поле, V — объем образца. Но, как это было отмечено выше, никакой зависимости $\Delta T_{\text{пер}}$ от размеров образца нами не было обнаружено. Более определенный ответ на вопрос о природе переходной области $\Delta T_{\text{пер}}$ могли бы дать резонансные измерения на разных частотах, т. е. при различных внешних полях. Причиной появления особенностей в температурной зависимости параметров магнитного резонанса в области от T_K до $T_K + \Delta T_{\text{пер}}$ мы склонны считать наличие ближнего магнитного порядка, обусловленного взаимодействием между ближайшими со-

седами, а не влияние внешнего магнитного поля. В пользу высказанного предположения говорит и тот факт, что $\Delta T_{\text{пер}}$ гадолиниевого феррита-граната значительно меньше переходной области иттриевого феррита-граната. Аналогичные измерения показали, что небольшие присадки ионов редкоземельных элементов также приводят к существенному уменьшению $\Delta T_{\text{пер}}$ иттриевого граната. По-видимому, наличие антиферромагнитно ориентированных ионов гадолиния и других редкоземельных элементов способствует более быстрому разрушению магнитного порядка в системе. Эти же процессы обуславливают и уменьшение интенсивности парапроцесса в редкоземельных ферритах-гранатах по сравнению с иттриевым, в котором парапроцесс, как и $\Delta T_{\text{пер}}$, особенно велик [7].

в) Область высоких температур $T > T_K + \Delta T_{\text{пер}}$. В этой области температур ширину резонансной линии можно представить в виде

$$\Delta H = A\tau^{1/4}. \quad (4)$$

Сплошные линии на рис. 1 соответствуют формуле (4). Значение критического показателя, равное $1/4$, находится в хорошем согласии с качественными оценками теории релаксационных явлений при конечных температурах [8]. При этих температурах состояние вещества чисто парамагнитное, без каких-либо значительных спин-спиновых корреляций. Полагая, что при этих температурах ближний порядок уже полностью разрушен. Косвенным подтверждением этого может служить хорошее совпадение значений ΔH , вычисленных по формуле для ширины линии ЭПР с учетом диполь-дипольного и обменного взаимодействий при условии равномерной заселенности всех зеемановских уровней [9] для иттриевого феррита-граната, с экспериментальным значением ΔH при высоких температурах. Расчетная величина ширины линии составляет 480 Э, а экспериментальное значение ΔH при $T = 550^\circ \text{C}$ в пересчете на ширину линии на полувысоте равно 450 Э. В этих расчетах нам не приходилось прибегать к представлению о псевдодипольном взаимодействии, как это делалось в первых работах по исследованию высокотемпературных спектров магнитного резонанса в ферритах [10].

Измерения температурной зависимости интенсивности линии магнитного резонанса также приводят к скачкообразному изменению характера этой зависимости при $T \approx T_K + \Delta T_{\text{пер}}$. На рис. 3 приведен график зависимости от температуры амплитуды первой производной линии магнитного резонанса I' . Введем понятие критического показателя m для I' в области температур выше точки Кюри, т. е. температурную зависимость I' запишем в виде

$$I' \sim \tau^{-m}. \quad (5)$$

Критический показатель ширины линии ЭПР вблизи точки Кюри обозначим через n [3]. Как видно из формул (2) и (4), в интервалах II и III (см. рис. 1) n равен соответственно 1 и $1/4$.

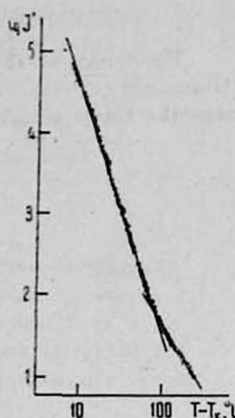
Известно, что площадь под кривой магнитного резонанса, которая определяется произведением I' и ΔH^2 , пропорциональна χ_0 [9], и, следовательно, для критического показателя γ статической восприимчивости χ_0 можем записать

$$\gamma = 2n - m.$$

(6)

Измерения температурной зависимости статической восприимчивости не дают особенностей при $T = T_K + \Delta T_{\text{пер}}$. На основе измерений температурной зависимости площади под резонансной линией также не обнаружено особенностей. Из наших измерений и формулы (6) для критического по-

Рис. 3. Зависимость амплитуды первой производной линии магнитного резонанса I' (в относительных единицах) от температуры для иттриевого феррита-граната.



казателя γ получается величина около — 1, что находится в неплохом согласии с предсказаниями теории Вейса и экспериментальными данными других авторов [11]. Однако поскольку точность измерений I' , равно как и площади под линией магнитного резонанса, остается довольно низкой, этот метод не может быть рекомендован для определения критического показателя γ , а может служить только для качественных оценок и сравнения с результатами статических измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Marugesan R., Subramanian S. J. Magn. Resonance, 57, 385 (1984); Buzare' J. Y., Simon R. J. Phys., C17, 2681 (1984).
2. Alzira M. Stein, Cabrera G. G., Falicov L. M. Phys. Rev., B23, 4391 (1981).
3. Мнацаканян С. А. Письма в ЖЭТФ, 18, 359 (1973).
4. Мнацаканян С. А., Марилян А. О. ФТТ, 14, 1821 (1972).
5. Мнацаканян С. А. Изв. АН АрмССР, Физика, 20, 107 (1985).
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика, ч. 1. Изд. Наука, М., 1976.
7. Белов К. П., Телалаева Е. В., Ярхо Г. А. ЖЭТФ, 52, 1498 (1967).
8. Уайт Р. М. Квантовая теория магнетизма. Изд. Мир, М., 1985.
9. Абрагам А., Блунд Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов, т. 1. Изд. Мир, М., 1973.
10. White R. Phys. Rev., 115, 1519 (1959).
11. Вонсовский С. В. Магнетизм. Изд. Наука, М., 1971.

ԻՏՐԻՈՒՄԻ ԵՎ ԳԱԴՈՒՆԻՈՒՄԻ ՖԵՐԻՏ-ՆՌՆԱՔԱՐԵՐԻ
ԲԱՐՁՐՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԷՊՈՒ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԸ

Ս. Ա. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ

Կյուրիի կետից բարձր ջերմաստիճանների լայն տիրույթում իտրիումի և գադոլինիումի ֆերիտ-նոնաքարերի համար կատարված է էլեկտրոնային պարամագնիսական ռեզոնանսի կորի

յայնության և ինտենսիվության ջերմաստիճանային կախվածության հետադոտումը: Նկատվել է, որ ֆազային անցումը տեղի է ունենում որոշակի $\Delta T_{\text{пер}}$ ջերմաստիճանային տիրույթում: Ենթադրվում է, որ այդ պայմանավորված է մերձակա մագնիսական կարգի առկայությամբ:

HIGH TEMPERATURE EPR SPECTRA OF YTTRIUM AND GADOLINIUM IRON GARNETS

S. A. MNATSAKANYAN

The temperature dependence of the EPR line width and of the intensity of yttrium and gadolinium iron garnets has been studied in large temperature range above the Curie point.